

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 21 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Remplir impérativement la 2ème page.

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 190600

REMISE DES BREVETS DATE 17 OCT 2002 LIEU 06 INPI Sophia Antipolis N° D'ENREGISTREMENT 0212900 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 17 OCT. 2002 PAR L'INPI		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE SCHUFFENECKER Thierry, Avocat 97, chemin de Cassiopée Domaine de l'étoile 06610 LA GAUDE	
Vos références pour ce dossier (facultatif) ST02-GR2-004			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date ____/____/____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Procédé d'estimation de la phase dans un système de communication numérique et boucle à verrouillage de phase			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		STMICROELECTRONICS, S.A.	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		_____	
Code APE-NAF		_____	
Adresse	Rue	29, Boulevard Romain Rolland	
	Code postal et ville	92120	MONTRouGE
Pays		France	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE 17 OCT 2002 LIEU 06 INPI Sophia Antipolis N° D'ENREGISTREMENT 0212900 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : (facultatif)		ST02-GR2-004	
6 MANDATAIRE			
Nom		SCHUFFENECKER	
Prénom		Thierry	
Cabinet ou Société		Cabinet Thierry SCHUFFENECKER	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 9962	
Adresse	Rue	97, chemin de Cassiopée Domaine de l'étoile	
	Code postal et ville	06610	LA GAUDE
N° de téléphone (facultatif)		0493190192	
N° de télécopie (facultatif)		0493190193	
Adresse électronique (facultatif)		schuffenecker@wanadoo.fr	
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en deux versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) SCHUFFENECKER Thierry, Avocat		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI Nathalie BLANC Nathalie BLANC	

Procédé d'estimation de la phase dans un système de communication numérique et boucle à verrouillage de phase

5

Domaine technique de l'invention

La présente invention concerne le domaine des communications numériques et notamment un procédé d'estimation de la phase dans un système de communication numérique et une boucle à verrouillage de phase.

Etat de la technique

15

Dans un système de communication numérique comportant un émetteur et un récepteur, le signal numérique à transmettre – en général une suite de symboles – est converti avant transmission sous la forme d'un signal analogique à temps continu qui est alors transmis par un milieu de propagation physique, l'air ou tout autre milieu physique de propagation. Lorsque le signal est reçu par le récepteur, il est alors traité et converti sous une forme numérique au moyen d'un échantillonnage approprié, lequel intervient en général à une fréquence f_e que l'on cherche en général à rendre synchrone par rapport à la fréquence f_s à l'émission des symboles. Malheureusement les horloges se trouvant dans les circuits oscillateurs équipant l'émetteur et le récepteur ne sont jamais synchrones et il faut alors compenser toute dérive en fréquence entre ces horloges de manière à pouvoir traiter convenablement le signal reçu et en extraire les symboles émis.

30

Cette dérive en fréquence affectant les oscillateurs à l'émission et à la réception engendre un déphasage parasite sur les observations du signal en sortie du démodulateur complexe situé dans le récepteur. D'autres facteurs contribuent à accentuer ce déphasage parasite. En premier lieu, on peut citer le temps que prend

le signal numérique pour traverser le milieu de propagation. En second lieu tout mouvement de l'émetteur par rapport au récepteur est source d'effet Doppler et tend, lui également, à introduire un déphasage perturbateur.

5 En se référant au modèle en bande de base, les observations Y_k en sortie du démodulateur complexe situé dans le récepteur peuvent être exprimées par la formule suivante: sur:

$$Y_k = a_k e^{i\xi_k} + \eta_k$$

10

Avec a_k correspondant aux symboles émis, ξ_k étant le déphasage parasite et η_k étant un bruit supplémentaire.

Des techniques sont déjà connues - basées sur des circuits estimateurs de phase - pour estimer ce déphasage parasite ξ_k et permettre sa correction.

15 Les estimateurs de phase les plus sophistiqués, qui traitent simultanément des pans entiers d'observations reçues s'appuient sur des traitements numériques extrêmement lourds: le filtrage particulaire, les méthodes de Monte-Carlo par chaîne de Markov etc... En pratique, de telles techniques s'avèrent irréalisables à mettre en œuvre sur un plan pratique en raison de la puissance de calcul considérable devant être mises en jeu.

25 Pour cette raison, on oppose à la complexité de ces estimateurs de phase la simplicité de mise en œuvre des boucles à verrouillage de phase qui traitent séquentiellement les observations reçues les unes après les autres et non par pans entiers d'observations reçues. Classiquement une boucle à verrouillage de phase est basée sur un algorithme numérique itératif permettant d'approcher une valeur estimée de la phase. Si traditionnellement, les boucles à verrouillage de phase sont
30 réalisées au moyen de circuits analogiques, le même traitement est aujourd'hui entièrement numérique. Il est à noter que ce traitement numérique dépend étroitement du type de modulation envisagée.

A titre d'exemple, considérons le cas d'une modulation à déplacement de phase à deux états (MDP2), connue dans la littérature anglo-saxonne sous l'appellation *Binary Phase Shift Keying BPSK*. Dans cette modulation MDP2 ou BPSK, les symboles a_k qui sont transmis sont égaux à -1 ou $+1$. Du fait du déphasage parasite évoqué précédemment, on n'obtient plus -1 et $+1$ en sortie du démodulateur complexe, mais ces mêmes valeurs affectées d'un déphasage. Une boucle à verrouillage de phase bien connue pour prendre en charge la correction de ce déphasage est la boucle dite de COSTAS qui prend appui sur l'utilisation d'un algorithme du gradient associé à une fonction de coût J donnée par la formule :

$$J(\varphi) = E(|y_k^2 e^{-j2\varphi} - 1|^2)$$

Dans laquelle E étant l'opérateur Espérance mathématique.

L'application de l'algorithme du gradient à la variable φ permet de faire converger l'algorithme vers la phase estimée :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma \partial J(\varphi) / \partial \varphi |_{\varphi = \varphi_{k-1}}$$

La boucle de Costas est finalement obtenue en supprimant l'espérance mathématique : c'est l'algorithme du gradient stochastique pour minimiser la fonction de coût J .

On connaît d'autres formules pour d'autres types de modulation et notamment la modulation en quadrature, également dénommée Quadrature Amplitude Modulation à quatre états ou 4-QAM. D'une manière générale, quelle que soit le type de modulation employé, les boucles de verrouillages de phase sont construites sur une formule générale du type :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1})$$

avec F étant une fonction dépendant étroitement de la modulation considérée.

Typiquement, comme on le voit sur la formule précédente, toutes les boucles consistent à calculer la phase φ_k en fonction de l'élément précédent φ_{k-1} et d'une fonction F des deux éléments Y_k et φ_{k-1} . Il est à noter que, dans cette formule, en fonction du type de déphasage à corriger, on peut avoir recours à une correction
5 sophistiquée au niveau du paramètre γ et notamment prévoir la mise en œuvre d'un filtre correcteur du second ordre (proportionnel intégral), voire d'un ordre supérieur.

Toutes les boucles à verrouillage de phase connues – reprenant classiquement le modèle analogique traditionnellement connu – présentent une
10 même limitation. L'évaluation de la phase φ_k est essentiellement basée à partir de la valeur précédente φ_{k-1} et à partir d'une fonction d'une ou plusieurs observations passées. De ce fait l'estimation de la phase reste imparfaite et, par suite, sa correction.

15 Il convient d'améliorer le modèle de la boucle à verrouillage de phase afin d'accroître la précision de l'estimation et l'efficacité de la correction.

Exposé de l'invention

20

Un objet de l'invention est une nouvelle structure de boucle à verrouillage de phase permettant d'accroître la précision de l'estimation de la phase par rapport à une boucle classique.

25

Un autre objet de l'invention consiste à proposer un procédé d'estimation de phase pour un récepteur numérique parfaitement adapté au traitement d'un signal numérique dans un récepteur doté d'un système de correction d'erreurs.

30

Selon l'invention, ces objets sont réalisés au moyen d'un procédé d'estimation de phase et d'un dispositif de boucle à verrouillage de phase.

L'invention propose un Procédé d'estimation d'une phase dans un système de communication numérique comportant les étapes suivantes :

- réception et mémorisation d'un bloc d'observations Y_k ;
- exécution d'au moins une boucle à verrouillage de phase sur une séquence prédéterminée d'observations extraites dudit bloc.

- 5 L'invention propose également un Dispositif de boucle à verrouillage de phase pour un récepteur numérique comportant :
- des moyens pour recevoir et stocker des observations par bloc ;
 - une première boucle de verrouillage de phase permettant de générer une première valeur intermédiaire ;
 - 10 - une seconde boucle de verrouillage de phase permettant de générer une seconde valeur intermédiaire ;
 - des moyens pour dériver desdites première et seconde valeur intermédiaire une valeur estimée de la phase.

15

En réalisant un traitement par bloc au niveau de la boucle à verrouillage de phase – lequel traitement par bloc n'intervient classiquement qu'en aval, au niveau des codes correcteurs d'erreur, on améliore sensiblement l'estimation de la phase tout en conservant la grande simplicité de mise en œuvre des boucles
20 traditionnelles à verrouillage de phase.

On peut en particulier briser le lien chronologique entre les observations et l'algorithme itératif qui est mis en œuvre par la boucle à verrouillage de phase . L'invention consiste à rapprocher deux concepts a priori antinomiques, à savoir le
25 traitement par bloc et la boucle de phase. Dans l'approche classique, on conçoit la boucle de phase comme un traitement itératif, prenant appui sur les observations passées pour en dériver une estimation de la phase à un instant donné. La présente invention transgresse radicalement cette approche et réalise un procédé dans lequel, une fois un bloc d'observations mémorisées, l'estimation de la phase peut
30 être effectuée à partir d'une ou plusieurs boucles de phase opérant sur toute séquence quelconque d'observations au sein du même bloc.

De préférence, on réalise une première boucle à verrouillage de phase sur un premier ensemble d'observations dudit bloc et une seconde boucle à verrouillage de

phase sur une autre séquence d'observations extraites du même bloc. Le résultat de chacune des boucles est combiné pour fournir une estimation affinée de la phase à chaque instant d'échantillonnage.

5 Comme on le voit, en combinant le traitement par bloc et la simplicité des boucles à verrouillage de phase, on peut sensiblement améliorer la précision de l'estimation de phase et, par suite, la correction. En effet, le traitement par bloc permet en effet de tenir compte, pour le calcul de φ_k non seulement des observations antérieures mais également des observations postérieures au sein
10 d'un même bloc. La précision de la boucle de verrouillage de phase en est alors considérablement améliorée.

Bien que le procédé introduise un retard de traitement lié à la mémorisation d'un bloc complet d'observations avant l'estimation de la phase pour chacune des
15 observations Y_k considérées, ce retard n'est pas préjudiciable et est parfaitement adapté à l'usage de certains codes correcteurs d'erreurs, comme les turbos codes ou les codes *en blocs*.

Préférentiellement le traitement par bloc sera effectué au moyen d'une
20 première boucle de phase opérant dans le sens chronologique des observations, et d'une seconde boucle de phase opérant en sens inverse.

Dans un mode de réalisation préféré, la seconde boucle à verrouillage de phase est initialisée avec une valeur qui est celle fournie par la première boucle en
25 fin d'itération.

Description des dessins

30

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description et des dessins ci-après, donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs. Sur les dessins annexés :

La figure 1 illustre le schéma de principe du procédé d'estimation d'une phase selon l'invention.

La figure 2 illustre l'effet d'un déphasage pour une modulation BPSK.

5

La figure 3 illustre le mode de réalisation préféré basé sur l'emploi de deux boucles à verrouillage de phase opérant en sens contraire.

La figure 4 illustre l'application du procédé de la figure 1 à une modulation 4-
10 PSK ou 4-QAM.

La figure 5 illustre l'application de l'invention à une modulation de type BPSK à deux états.

15

Description d'un mode de réalisation préféré

En relation avec la figure 1, on décrit à présent le procédé général
20 d'estimation de la phase, lequel convient pour tout type de modulation, qu'il s'agisse d'une modulation BPSK, 4-QAM etc... Le procédé comporte une première étape 11 au cours de laquelle un ensemble de $n+1$ observations (par hypothèse Y_0 à Y_n) en sortie du démodulateur complexe est réceptionné et mémorisé au sein d'un bloc de $n+1$ observations. Typiquement, on pourra envisager un bloc de 1000 à 10 000
25 observations et l'homme du métier choisira un nombre en fonction de l'application et du type de modulation envisagée.

Une fois la mémorisation du bloc effectuée, on réalise une première boucle à verrouillage de phase qui va opérer sur une séquence prédéterminée
30 d'observations du bloc. Typiquement, on pourra considérer toute séquence quelconque et plus particulièrement une séquence chronologique d'observations Y_k , suivant l'ordre de réception des données. La réalisation concrète d'une boucle à verrouillage de phase ne pose aucune difficulté en soi et, pour des raisons de simplicité d'exposé, celle-ci ne sera pas développée plus avant. On se bornera à

dire que, en fonction du type de modulation utilisé, on mettra en œuvre un algorithme itératif suivant la formule générale rappelée précédemment.

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1}) \text{ avec } k = 1 \text{ à } n$$

5

Dans une étape 12, on procède à l'initialisation de la première boucle à verrouillage de phase. Typiquement, cette initialisation permet de fixer les premières valeurs de l'algorithme itératif, et notamment la première valeur φ_0 . De préférence, lorsque la phase présente une continuité d'un bloc à l'autre, on initialisera d'une manière avantageuse la première boucle en prenant en considération la dernière valeur estimée au bloc précédent. Pour une boucle d'ordre supérieur à 1, plusieurs paramètres devront être fixés et, à nouveau, on pourra avantageusement tirer profit de toute continuité exploitable.

15

Dans une étape 13, on exécute la première boucle à verrouillage de phase de manière à construire la séquence $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots, \varphi_n$, comme cela est illustré dans la figure 3 par la flèche allant de la gauche vers la droite.

20

Dans une étape 14, on initialise à présent une seconde boucle à verrouillage de phase allant dans le sens opposé à la première (représentée sur la figure 2 par la flèche dirigée de la droite vers la gauche). De préférence, on initialise la première valeur de la seconde boucle, à savoir φ'_n avec la dernière valeur numérique φ_n calculée par la première boucle à verrouillage de phase.

25

Dans une étape 15, on exécute la seconde boucle à verrouillage de phase de manière à construire la séquence $\varphi'_{n-1}, \varphi'_{n-2}, \varphi'_2, \varphi'_1 \dots, \varphi'_0$ calculée dans le sens inverse à précédemment.

30

$$\varphi'_k = \varphi'_{k+1} - \gamma F(Y_k, \varphi'_{k+1}) \text{ avec } k = n-1 \text{ à } 0$$

Dans une étape 16, on combine les résultats intermédiaires produits par la première et par la seconde boucle à verrouillage de phase de manière à produire la phase estimée φ''_k suivant la formule

$$\varphi''_k = G(\varphi_k, \varphi'_k)$$

dans laquelle la fonction G est adaptée au type de modulation considéré.

- 5 Dans un mode de réalisation particulier, on choisira G de manière à générer une somme pondérée sous la forme :

$$\varphi''_k = A \times \varphi_k + B \times \varphi'_k$$

- 10 De préférence, on pourra d'ailleurs choisir des coefficients variables A_k et B_k de manière à privilégier l'une des deux boucles à verrouillage de phase en fonction de k. En effet, on pourra avantageusement choisir les « poids » de la somme pondérée de manière à privilégier la première boucle dans la partie droite du bloc de la figure 2 et, inversement, ajouter plus de poids à la seconde boucle dans la
15 partie la plus à gauche du bloc. Ainsi, on privilégie toujours la boucle ayant effectué le plus d'itérations et pourra prétendre à une plus grande précision dans le calcul de la phase.

- En relation avec la figure 4, on décrit à présent l'application du procédé
20 général de la figure 1 à une modulation de type 4-BPSK ou 4-QAM. Dans une modulation de ce type, on transmet les symboles complexes a_k qui sont respectivement -1 , $+1$, $-i$ et $+i$. Le procédé débute par une étape 41 consistant, comme précédemment, en la réception et la mémorisation d'un bloc d'observations reçues du démodulateur complexe.

25

Dans une étape 42, on procède à l'initialisation de la première boucle à verrouillage de phase adaptée pour une modulation 4-QAM :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \gamma \operatorname{Im}g (y_k^4 e^{-i4\varphi(k-1)})$$

30

dans laquelle IMG correspond à la partie imaginaire du nombre complexe.

Il est à noter que, en pratique, on pourra prévoir l'emploi d'un filtre numérique sophistiqué pour le calcul du facteur γ en fonction de modèle du déphasage que l'on souhaitera corriger. Pour des déphasages simples, on pourra s'accommoder d'un correcteur proportionnel simple alors que dans des cas plus complexes, on pourra avantageusement recourir à un correcteur intégral, voire à un filtre d'ordre supérieur.

Pour l'initialisation de la boucle à verrouillage de phase, on donnera la première valeur de φ_0 . De préférence, le filtre γ pourra être réalisé au moyen d'un filtre numérique d'un ordre 2, par exemple du second ordre suivant la formule ci-après :

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 / (1 + z^{-1})$$

et que l'on initialisera en tenant compte de tous les facteurs de continuité exploitables.

Dans une étape 43, on exécute la première boucle à verrouillage de phase de manière à construire toute la séquence $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots, \varphi_n$.

Dans une étape 44, on initialise à présent une seconde boucle à verrouillage de phase de COSTAS avec la dernière valeur calculée par la première boucle et, dans une étape 45 on exécute cette boucle pour construire la séquence $\varphi'_{n-1}, \varphi'_{n-2}, \varphi'_{n-3}, \varphi'_{n-4} \dots, \varphi'_0$ calculée dans le sens inverse à précédemment.

$$\varphi'_k = \varphi'_{k+1} + \gamma \operatorname{Im}g (y_k^4 e^{-i4\varphi(k+1)}) \quad k=n-1 \dots 0$$

Les deux résultats intermédiaires sont alors combinés dans une étape 46 de manière à générer l'estimation du déphasage φ''_k , de préférence suivant la formule

$$\varphi''_k = G(\varphi_k, \varphi'_k)$$

Dans une étape 47, le procédé achève le traitement du bloc courant.

Pour illustrer la généralité de l'invention, on va montrer à présent en référence à la figure 5 que l'invention peut contribuer à améliorer considérablement l'estimation de phase dans une modulation de type BPSK.

Le procédé démarre, une fois encore, par la réception et la mémorisation d'un bloc de d'observations Y_k dans une étape 51.

Dans une étape 52, on procède à l'initialisation de la première boucle à verrouillage de phase adaptée pour une modulation BPSK. D'une manière particulièrement avantageuse et nouvelle, on combine cette première boucle à verrouillage de phase avec l'exploitation d'informations statistiques portant sur les symboles a_k transmis dans cette modulation BPSK. On réalise à cet effet une boucle à verrouillage de phase suivant la formule :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \gamma \operatorname{Im}g \left(y_k e^{-i\varphi(k-1)} \operatorname{th} \left[L_k / 2 + 2/\sigma^2 \operatorname{Re}(y_k e^{-i\varphi(k-1)}) \right] \right)$$

dans laquelle:

th : étant l'opérateur tangeante hyperbolique,

Re: étant l'opérateur renvoyant la partie réelle d'un nombre complexe,

σ^2 : étant la variance du bruit;

$$\text{et } L_k = \operatorname{Ln} \left[p(a_k=1) / p(a_k=-1) \right]$$

et Ln étant le logarithme népérien. $p(a_k=1)$ est la probabilité pour que le symbole a_k soit égal à +1 et $p(a_k=-1)$ est la probabilité pour que le symbole a_k soit égal à -1,

Comme précédemment, on pourra prévoir l'emploi d'un filtre numérique du second ordre – voire d'un ordre supérieur – pour le facteur γ .

5 Dans une étape 53, on exécute la première boucle à verrouillage de phase de manière à construire la séquence $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots, \varphi_n$.

Dans une étape 54, on initialise à présent une seconde boucle à verrouillage de phase construite comme précédemment, en tenant compte d'informations
10 statistiques portant sur les symboles. avec la dernière valeur calculée par la première boucle et, dans une étape 55 on exécute cette boucle pour construire la séquence $\varphi'_{n-1}, \varphi'_{n-2}, \varphi'_2, \varphi'_1 \dots, \varphi'_0$ calculée dans le sens inverse à précédemment.

$$15 \quad \varphi_k = \varphi_{k+1} + \gamma \operatorname{Im}g \left(y_k e^{-i\varphi(k+1)} \operatorname{th} \left[L_k / 2 + 2/\sigma^2 \operatorname{Re}(y_k e^{-i\varphi(k+1)}) \right] \right)$$

Deux variantes de réalisation sont encore possibles. Si la puissance de bruit reste faible, on peut approximer la fonction tangente hyperbolique par la fonction
20 signe. On obtient alors la formule suivante typique d'une boucle à remodulation (désignée sous l'appellation anglo-saxonne *decision feedback loop*) au terme additif $L_k / 2$ près.

On peut noter que, dans le cas contraire lorsque la puissance de bruit est
25 importante, l'opérateur tangente hyperbolique peut s'approximer par la fonction identité et l'on retombe alors sur le formule d'une boucle de COSTAS (au terme additif $L_k / 2$ près).

Dans une étape 56, on combine les deux résultats intermédiaires obtenues
30 des deux boucles à verrouillage de phase de manière à générer l'estimation du déphasage φ''_k de préférence suivant la formule

$$\varphi''_k = G(\varphi_k, \varphi'_k)$$

Comme précédemment, le traitement du bloc courant s'achève dans une étape 57.

5

Les deux exemples précédents montrent que le procédé suivant l'invention s'applique à tout type de modulation et à tout type de boucle à verrouillage de phase. Il est clair que l'homme du métier pourra réaliser toutes les adaptations appropriées, voire même combiner avantageusement le traitement par bloc de la

10 boucle de phase réalisé très en amont avec tous les traitements ultérieurs réalisés en aval, qu'il s'agisse de traitement de codes correcteurs d'erreur, turbocodes etc...

Revendications

- 5 1. Procédé d'estimation d'une phase dans un système de communication numérique comportant les étapes suivantes :
- réception et mémorisation d'un bloc d'observations Y_k ;
 - exécution d'au moins une boucle à verrouillage de phase sur une séquence
 - 10 prédéterminée d'observations extraites dudit bloc.
2. Procédé d'estimation d'une phase dans un système de transmission numérique selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte :
- 15 - exécution d'une première boucle de verrouillage de phase sur lesdites observations dans le but de générer une première valeur intermédiaire ;
 - exécution d'une seconde boucle de verrouillage de phase sur lesdites observations dans le but de générer une seconde valeur intermédiaire ;
 - combinaison desdites première et seconde valeur intermédiaire pour générer une
 - 20 valeur estimée de la phase.
3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que ladite première boucle est exécutée sur la séquence d'observations dans l'ordre chronologique d'apparitions, et en ce que la seconde séquence est exécutée sur la séquence inverse.
- 25 4. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que la seconde boucle à verrouillage de phase est initialisée à partir de la dernière valeur calculée par ladite première boucle à verrouillage de phase.
- 30 5. Procédé selon la revendication 4 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- réception et mémorisation d'un bloc d'observations Y_k avec k variant de 0 à n ;

- initialisation d'une première boucle de phase à partir des observations Y_k reçues ;
- exécution de ladite première boucle de phase suivant une formule :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1}) \text{ avec } k = 1 \text{ à } n$$

5

avec F étant une fonction adaptée au type de modulation considérée

- initialisation d'une seconde boucle de phase à partir des observations Y_k avec k variant de n à 0 ;
- exécution de ladite seconde boucle à verrouillage de phase suivant une formule :

10

$$\varphi'_k = \varphi'_{k+1} - \gamma F(Y_k, \varphi'_{k+1}) \text{ avec } k = n-1 \text{ à } 0$$

- combinaison des résultats produits par lesdites première et seconde boucle de manière à générer une valeur estimée de la phase.

15

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la modulation est de type BPSK avec une boucle à verrouillage de phase définie par

20

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \gamma \operatorname{Img} \left(y_k e^{-i\varphi(k-1)} \operatorname{th} \left[L_k / 2 + 2/\sigma^2 \operatorname{Re}(y_k e^{-i\varphi(k-1)}) \right] \right)$$

dans laquelle:

th : étant l'opérateur tangente hyperbolique,

25

Re : étant l'opérateur renvoyant la partie réelle d'un nombre complexe,

σ^2 : étant la variance du bruit;

$$\text{et } L_k = \operatorname{Ln} \left[p(a_k=1) / p(a_k=-1) \right]$$

30

et Ln étant le logarithme népérien, $p(a_k=1)$ la probabilité pour que le symbole a_k soit égale à $+1$ et $p(a_k=-1)$ la probabilité pour que le symbole a_k soit égale à -1 .

7. Procédé selon la revendication 6 caractérisé en ce que ledit facteur γ est réalisé au moyen d'un filtre numérique d'ordre 2 ou supérieur.

- 5 8. Dispositif de boucle à verrouillage de phase pour un récepteur numérique comportant :
- des moyens pour recevoir et stocker des observations par bloc ;
 - une première boucle de verrouillage de phase permettant de générer une première valeur intermédiaire ;
 - 10 - une seconde boucle de verrouillage de phase permettant de générer une seconde valeur intermédiaire ;
 - des moyens pour dériver desdites première et seconde valeur intermédiaire une valeur estimée de la phase.

- 15 9. Dispositif de boucle à verrouillage de phase selon la revendication 8 caractérisé en ce que ladite première et seconde boucle à verrouillage de phase sont réalisées au moyen de la formule :

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k-1}) \text{ avec } k = 1 \text{ à } n$$

ou

20
$$\varphi_k = \varphi_{k+1} - \gamma F(Y_k, \varphi_{k+1}) \text{ avec } k = n-1 \text{ à } 0$$

avec F étant une fonction adaptée au type de modulation considérée

- 25 10. Dispositif selon la revendication 9 caractérisé en ce que première valeur calculée par ladite seconde boucle est déterminée par le dernier calcul réalisé par ladite première boucle à verrouillage de phase.

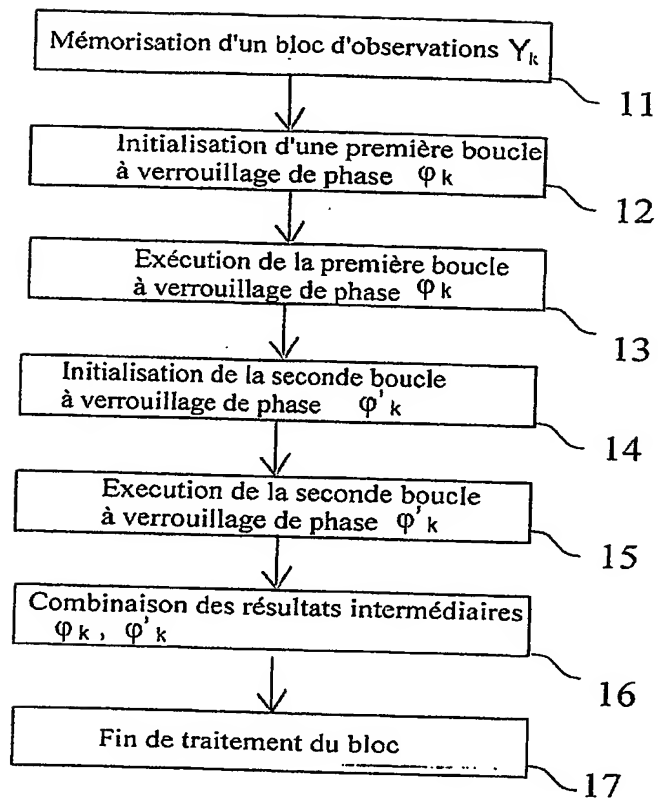


Fig. 1

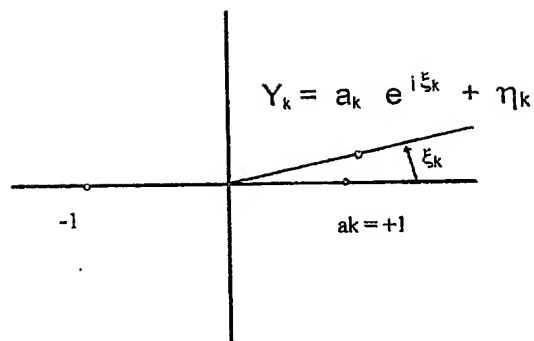


Fig. 2

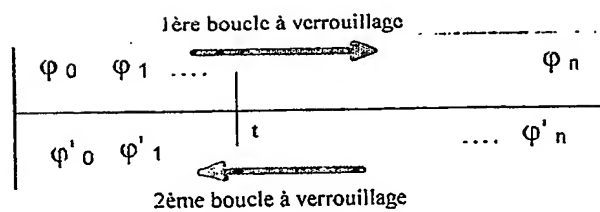


Fig. 3

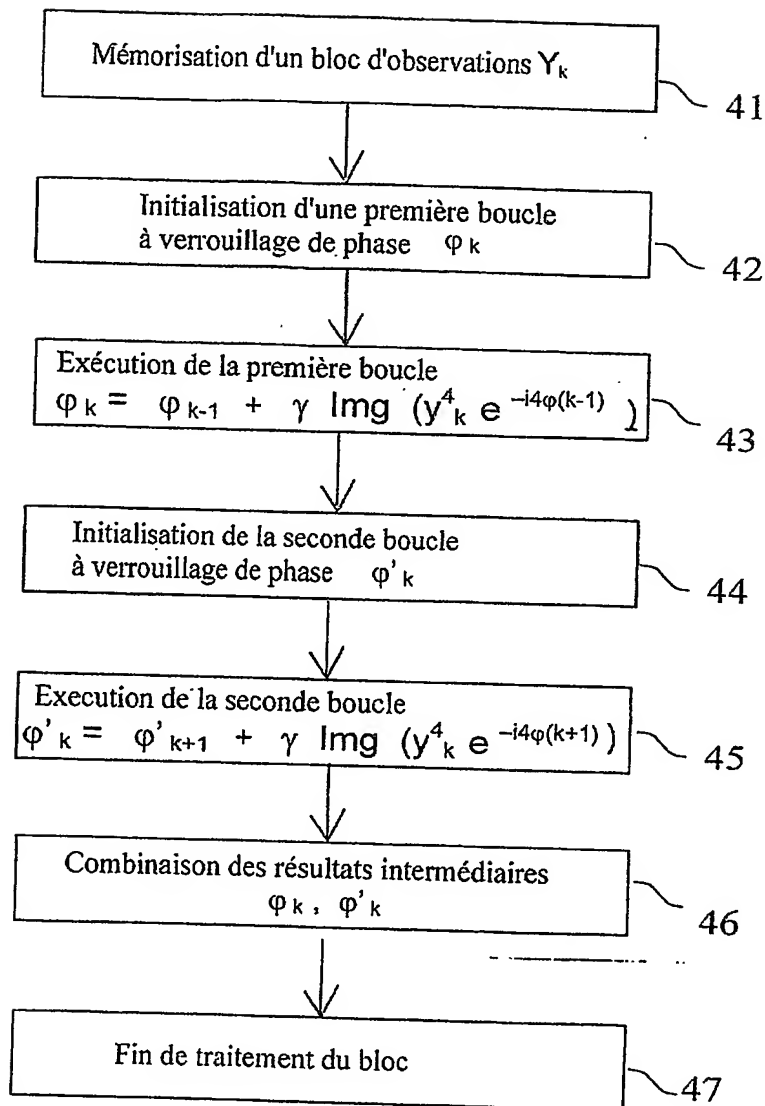


Fig. 4

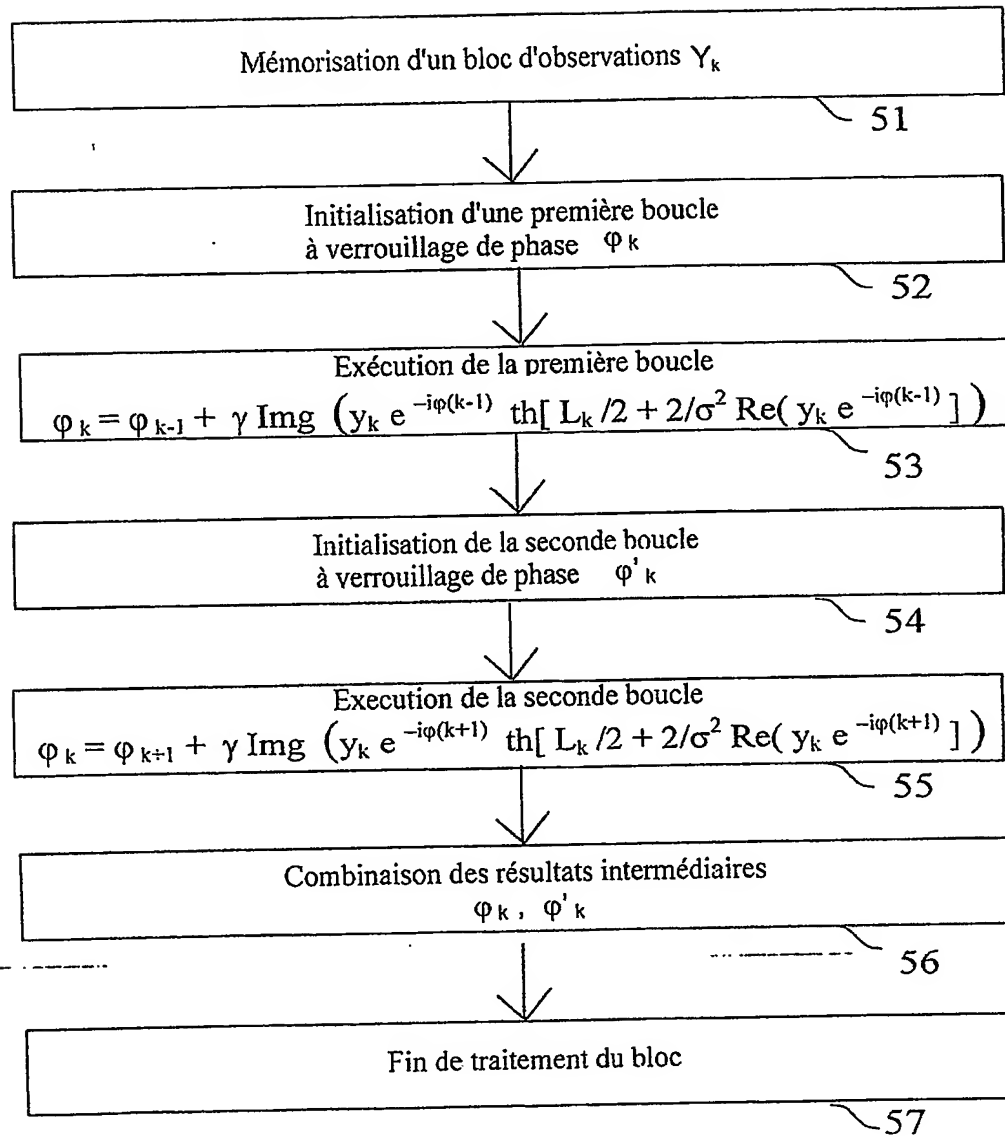


Fig. 5

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.. / 1..
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 250899

Vos références pour ce dossier
(facultatif)

ST02-GR2-004

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

02 129 00

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

Procédé d'estimation de la phase dans un système de communication numérique et boucle à verrouillage de phase

LE(S) DEMANDEUR(S) :

STMICROELECTRONICS, S.A.

29, Boulevard Romain Rolland
92120 MONTROUGE

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).

Nom

BROSSIER

Prénoms

Jean-Marc

Adresse

Rue

11, rue Antoine POLOTTI

Code postal et ville

38400

Saint Martin d'Hères

Société d'appartenance (facultatif)

Nom

Prénoms

Adresse

Rue

Code postal et ville

Société d'appartenance (facultatif)

Nom

Prénoms

Adresse

Rue

Code postal et ville

Société d'appartenance (facultatif)

DATE ET SIGNATURE(S)

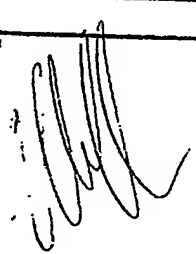
DU (DES) DEMANDEUR(S)

OU DU MANDATAIRE

(Nom et qualité du signataire)

Le 15 octobre 2002

Thierry SCHUFFENECKER, Avocat
(pouvoir général PG 9962)



PCT Application

FR0303064

